

畑作酪農地帯における河川水質形成に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

森林を除いた農耕地，牧場の地目別用途割合が 38.4%に達する北海道では，水域の富栄養化防止のためには，生活排水の処理と同様に酪農，畜産，農耕地から排出される汚濁物質の表流水および地下水への栄養塩流出制御が大きな課題である．大規模・高密度化が進んだ酪農業による家畜の飼養は牧草の硝酸態窒素濃度を上げ，余剰となった硝酸態窒素は地下水を汚染する

高濃度の硝酸態窒素を含む飲料水は，乳幼児の健康への悪影響があるため，環境基準および飲料水質基準が設定されている．地下水の硝酸態窒素濃度の上昇は，地下水を主な水道水源とする欧米諸国では深刻な問題であり，特に英国ではEU基準の 50 mgNO₃/l (11.3 mgN/l)を約 2%の水源が超過する（1992 年現在）．日本では農水省が行った農業用地下水の調査によれば，調査された全国 182 ヶ所の井戸のうち 15.4%が飲料水の水質基準である 10 mgN/l を超え，土地利用別では畑作地帯において 36%の井戸が基準値を上回った．このように畑作酪農地帯の河川の栄養塩は硝酸態窒素を代表として，富栄養化の他，医学的見地からも多くの問題が生じてきている．

従来から農業による地下水への硝酸態窒素の汚染について調査研究例は多いが，水道水の 71%（1986 年現在）を表流水に依存している日本においては，地下水の汚染防止とともに表流水の汚染の防止は今後とも取り組むべき課題の一つである．表流水の代表である河川水については，畑作地帯の高い硝酸態窒素濃度は共通の傾向として世界各地で認められているが，河川水質の保全のための硝酸態窒素を中心とした水質形成機構の解明は緒についたばかりである．

本論文では，農耕地河川水における硝酸態窒素濃度の上昇にかかわる畑作酪農地帯の河川水質形成機構を明らかにすることを目的とした．畑作・酪農地帯である北海道勇払郡早来町の安平川水系フモンケ川流域を研究対象水域とし，河川水，浅層および深層地下水，農耕地排水の流況と水質の実態調査から，畑地，草地の浅層地下水の水質形成機構および農耕地排水が河川水質に与える影響を検討した．

調査対象とした畑作酪農地帯の河川水質は，森林河川水をバックグラウンドとし，農耕地の影響が大きい浅層地下水と地質的に流出する深層地下水によって水質が形成されていること，河川水に対して浅層地下水の流量比は融雪期直前に最大 60～70%になり，融雪が開始すると浅層地下水の流量比が減少する等の特徴が明らかになった．上記 3 成分の流量比と水質から河川水質を再現した．再現された無機イオンや溶存態有機炭素濃度は河川水の濃度の実測値に近く，浅層地下水流量の推定結果は妥当であることが示された．

農耕地によって汚染された浅層地下水の流出が畑作酪農河川の水質形成に大きく寄与しており，河川の硝酸態窒素濃度を高めていることを明らかにした．河川水質保全のためには浅層地下水質の保全が必

要であり、浅層地下水の水質保全対策を積極的に行うことで畑作酪農地帯の河川水質を保全することができることを示した。

本論文は6章から構成されており、以下に各章の概要を略述する。

第1章では農地河川水質に関する研究の現状と問題点を述べた。農業活動に起因する栄養塩の流出と河川水質への影響について考察し、本論文の背景と目的を示している。

第2章では、畑作・酪農地帯の河川水質の一般的特徴と季節変化特性等の概況を示すとともに、酪農地域で特徴的な河道内の植生が流下過程における水質変化や水質負荷の変動に大きな影響を与えることを示した。

第3章では、畑作・酪農地帯の地下水水質の変動特性を示すとともに、畑作・酪農地域の湧水群の一斉調査から、浅層地下水の特定の水質成分が畑地や草地などの土地利用に影響されていることを明らかにし、浅層地下水の水質成分濃度と土地利用面積率の関係を重回帰分析によって定式化した。

第4章では、畑作・酪農地帯の浅層地下水の水質形成機構および浅層地下水の起源の湧水および側溝による栄養塩流出機構を明らかにすることを目的とし、畑地直下の湧水および草地側溝の水質を連続観測した。湧水は年間を通じて安定に流出し、農業の影響により汚染された浅層地下水に含まれる高濃度の窒素成分や無機塩類を年間を通じて安定に流出させる能力があることを指摘した。

第5章では畑作・酪農地帯の河川への地下水流出量の推定について述べた。第3章の結果から流域の浅層地下水質を推定し、**End Members Mixing Analysis** によって河川水中の森林河川水、浅層地下水、深層地下水の流量比率を推定した。

第6章では本研究の結論について述べ、得られた知見と成果をまとめ、畑作酪農河川流域における河川水質形成機構と畑作酪農河川の水質保全対策について示した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 清 水 達 雄

副 査 教 授 太 田 幸 雄

副 査 教 授 眞 柄 泰 基

副 査 助 教 授 橘 治 国

学 位 論 文 題 名

畑作酪農地帯における河川水質形成に関する基礎的研究

高濃度の硝酸態窒素を含む飲料水は、人間の健康へ悪影響を及ぼすため、環境基準および飲料水水質基準が設定されている。我が国では農水省が行った農業用地下水の全国調査によれば、調査井戸のうち 15.4%が飲料水の水質基準である 10mgN/l を超過し、土地利用別では特に畑作地帯において 36%の井戸が基準値を上回っていた。地下水の硝酸態窒素濃度の上昇が農地に施用される窒素肥料や家畜糞尿の地下浸透と関連していることが指摘されており、多くの調査研究が行われているが、その汚染機構は必ずしも明確ではない。

また、我が国では水道水源の約 70%を表流水に依存し、地下水とともに表流水の汚染防止は今後とも取り組むべき重要な課題の一つである。表流水の代表である河川水は、畑作地帯において、高い硝酸態窒素濃度を示すことが世界各地での共通の現象として認められているが、河川水質保全のための硝酸態窒素を中心とした水質制御方法は未だ確立されていない。畑作酪農地帯の地下水および河川水中の硝酸態窒素は、富栄養化の要因となるだけでなく、医学的見地からも問題が生じている。

本研究ではこのような背景のもとに、酪農業活動から由来する硝酸態窒素の地下水への浸透機構および地下水の影響を強く受ける畑作酪農地帯の河川水質形成機構を明らかにするとともに、それらの保全対策を提案することを目的としている。具体的には、畑作酪農地帯である北海道勇払郡早来町の安平川水系フモンケ川流域を研究対象水域とし、森林河川水、浅層および深層地下水、農耕地排水の流況と水質実態調査から、これらが河川水質形成に与える影響を検討した。その結果、浅層地下水質は涵養域表層土壌における硝化によって生じた硝酸態窒素の負荷量により決定され、汚染を受けない深層地下水の水質組成と全く異なることを明らかにしている。さらに、畑作酪農地帯の河川水質は、森林河川水をバックグラウンドとし、農耕地の影響が大きい特異的な浅層地下水と地質的に流出する深層地下水によって形成されていること、河川水に対して浅層地下水の流量比は融雪期直前に最大 50~60%になり、融雪が開始すると減少する等の特徴を有することを明らかにしている。

本研究の成果から、著者は畑作酪農地帯における河川の硝酸態窒素制御のためには、流

域に対する窒素負荷を減少させ、流域内で家畜糞尿を適正に農耕地へ還元し、平地林を保全することによって浅層地下水の汚染を防止すること、河川水に対する浅層地下水の比率を増加させないために流域の山地森林を保全し、山地森林由来の流量を確保することが極めて重要であることを提言している。

本論文は6章から構成されており、以下に各章の概要を略述する。

第1章では農地河川水質に関する研究の現状と問題点を述べ、酪農業活動に起因する硝酸態窒素の健康影響、地下水質および河川水質への影響について考察し、本論文の背景と目的を示している。

第2章では、畑作酪農地帯の河川水質の一般的特徴や季節変化特性等の概況を示すとともに、流域の農耕地から硝酸態窒素をはじめとする溶存一般成分が多量に流入することを明らかにしている。また酪農地帯で特徴的な河道内の植生が河川流下過程における懸濁性分濃度と負荷を減少させていることを実験的およびモデル式を用いて示し、その水質形成に大きく寄与することを明らかにしている。

第3章では、畑作酪農地帯の地下水質の一般的な水質特性を示すとともに、多様な土地利用をもつ畑作酪農地帯の湧水群の一斉調査の結果に基づき、浅層地下水の水質成分濃度と土地利用面積率との関係を重回帰分析によって解析し、硝酸態窒素濃度と畑地面積率との相関は高いが、草地面積率との相関は低いことを明らかにしている。また、流域の窒素負荷発生量から湧水の硝酸態窒素濃度を推定し、実測値と比較検討を行った結果、湧水の硝酸態窒素は涵養域に施用される窒素負荷量によって決定することを明らかにしている。

第4章では、畑作酪農地帯の浅層地下水の水質形成機構および浅層地下水の流出の一つである湧水における栄養塩流出機構を解明している。すなわち、土壌水質の観測および畑地湧水水質の主成分分析によって、畑地浅層土壌における硝酸態窒素をはじめとした一般無機成分の溶脱が浅層地下水の水質形成に寄与していることを明らかにしている。

第5章では、河川水は山地森林河川水に農耕地によって汚染された浅層地下水と、深層地下水が加わることによって形成されているとし、畑作酪農地帯からの地下水流出量の河川水質への寄与をEMMA (End-Members-Mixing-Analysis)法を用いて解析している。その結果、浅層地下水の流出が畑作酪農地帯の河川水質形成に大きく影響し、河川水の硝酸態窒素濃度の高濃度化に寄与していることを明らかにしている。浅層地下水の寄与率は融雪期直前に最大になり、融雪によって減少する等の特徴を見出した。河川の硝酸態窒素濃度の上昇を抑制するためには浅層地下水質の硝酸態窒素濃度の上昇を防ぐことが重要であることを示し、農耕地の管理と将来の水質の予測について考察している。

第6章では、本研究の結論について述べ、得られた知見と成果をまとめ、畑作酪農河川流域における河川水質形成機構に基づいて、畑作酪農河川の水質保全対策を提言している。

これを要するに、著者は現在、世界各地で発生している畑作酪農地帯における硝酸態窒素による地下水および河川水の汚染に着目し、浅層地下水および河川水の水質特性とその水質形成機構を解明し、それに基づく水質保全対策を提言したものであり、水環境工学ならびに水質保全工学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。